Bestimmung von Organdosen bei Röntgendiagnostischen Untersuchungen und Berechnung der somatisch signifikanten Dosisindizes

DISSERTATION

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnmedizin
der Medizinischen Fakultät der Universität Düsseldorf

vorgelegt von

HARALD STEINER

1980

1981

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41536504_0159

BESTIMMUNG VON ORGANDOSEN BEI RÖNTGENDIAGNOSTISCHEN UNTERSUCHUNGEN UND BERECHNUNG DER SOMATISCH SIGNIFIKANTEN DOSISINDIZES

DISSERTATION

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnmedizin
der Medizinischen Fakultät der Universität Düsseldorf

vorgelegt von
HARALD STEINER
1980

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Aus dem Institut und der Klinik für Medizinische
Strahlenkunde der
Universität Düsseldorf
Direktor: o. Prof. Dr. Heinz Vieten

Bestimmung von Organdosen bei röntgendiagnostischen Untersuchungen und Berechnung der somatisch signifikanten Dosisindizes

Dissertation
zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnmedizin
der Medizinischen Fakultät der Universität Düsseldorf
vorgelegt von

Harald Steiner

1980

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität Düsseldorf

Der Dekan
der Medizinischen Fakultät
der Universität Düsseldorf
gez.: Prof.Dr. Krüskemper

Referent
gez.: Prof.Dr. Günther

Korreferent
gez.: Prof.Dr. Jungblut

Inhaltsverzeichnis

		Seite
1	Einleitung	2
2	Methodik	4
2.1	Thermolumineszenzdosimetrie	4
2.2	Duplex-Dosimeter	5
2.3	Meßanordnung	6
2.4	Alderson-Rando-Phantom	7
2.5	Plazierung der Dosimeter	8
2.5.1	Lunge	8
2.5.2	Rotes Knochenmark	8
2.5.3	Schilddrüse	10
2.5.4	Weibliche Brust	10
3	Meßergebnisse	12
4	Auswertung	16
4.1	Somatischer Dosisindex	16
4.2	Somatisch signifikanter Dosisindex	22
5	Schlußbemerkungen	27
6	Literatur	30

1 Einleitung

Die Strahlenbelastung in der Röntgendiagnostik wurde jahrzehntelang unter einem etwas zu speziellen Gesichtspunkt betrachtet. Man interessierte sich im wesentlichen nur für die Gefährdungsmöglichkeiten, denen die exponierte Hautoberfläche des Patienten ausgesetzt war.

Heutzutage kommen bei röntgendiagnostischen Untersuchungen akute Hautschädigungen praktisch nicht mehr vor. Doch können medizinische Strahlenexpositionen genetische Wirkungen oder somatische Spätschäden verursachen.

Ein Maß für die genetische Wirkung (z.B. unerwünschte Mutationen) ist die Gonadendosis. Das Risiko der Bevölkerung durch medizinische Strahlenexpositionen wurde bisher nur als genetisch signifikante Dosis / 1 / bekanntgegeben, während über die somatische Wirkung vor allem kleiner Dosen strahlenbiologisch wenig bekannt war. Diese Einstellung hat sich auf der Grundlage strahlenbiologischer Untersuchungen an Überlebenden von Hiroshima und Nagasaki, an strahlentherapeutisch behandelten Patienten, an einzelnen stark strahlenbelasteten Berufsgruppen und aufgrund tierexperimenteller Forschung geändert. Dabei versucht man, die Wahrscheinlichkeit für die Induktion maligner Erkrankungen zahlenmäßig zu erfassen. So unvollständig das Wissen um die tumorauslösenden Wirkungsmechanismen noch ist, so läßt sich pessimistisch doch vermuten, daß die Strahlen-

schädigung schon einer einzelnen Zelle oder nur weniger Zellen tumorinduzierend wirken kann.

Neben der durch Bestrahlung des Knochenmarks induzierten Leukämie beobachtet man mit wahrscheinlich etwas längerer Latenzzeit das Auftreten maligner Prozesse auch in anderen Organen, insbesondere in der weiblichen Brust, in der Schilddrüse und in der Lunge.

Diese Erkenntnis über das somatische Strahlenrisiko muß konsequenterweise auch praktische Auswirkungen auf den Strahlenschutz in der Röntgendiagnostik haben, denn 80 bis 85 % der künstlichen Strahlenexposition der Gesamtbevölkerung entfällt hauptsächlich auf diesen Bereich.

Im Rahmen dieser Arbeit soll versucht werden, den Zusammenhang zwischen der aufgenommenen Strahlendosis und der hierdurch bedingten Wahrscheinlichkeit für die Inzidenz von Leukämie und Krebs im Bereich niedriger, für die Röntgendiagnostik typischer Dosen zahlenmäßig anzugeben. Dazu werden für verschiedene röntgendiagnostische Untersuchungen am Phantom Organdosen ermittelt und daraus ein somatisch signifikanter Dosisindex berechnet.

2 Methodik

2.1 Thermolumineszenzdosimetrie

Die Dosismessung erfolgte mit Hilfe von Thermolumineszenzdosimetern (TLDs) aus den Materialien LiF und CaF_2. Thermolumineszenzmaterialien haben die Fähigkeit, die Energien ionisierender Strahlen zu absorbieren. Dabei werden Elektronen aus dem Gitterverband des TL-Materials freigesetzt und an sog. Haftstellen angelagert. Die Bindung zwischen Elektronen und Haftstellen kann so stabil sein, daß wie zum Beispiel bei der TL-Dosimetrie erst durch thermische Stimulation, d.h. durch Aufheizen der Kristalle, die Elektronen wieder freigesetzt werden und dabei die vorher absorbierte Energie als Wärme oder Licht emittiert wird.
Die Auswertung erfolgt in einem Auswertegerät durch Messung der dosisproportionalen Lichtmenge mit Hilfe eines Sekundärelektronenvervielfachers, in dem über den Photoeffekt die Lichtquanten in einen Elektronenstrom umgewandelt werden. Über einen für jedes TL-Material typischen, von der eingestrahlten Photonenenergie abhängigen Kalibrierfaktor kann man die dem Kristall applizierte Dosis berechnen.
Die Wärmebehandlung und Auswertung der Dosimeter erfolgt nach Standardverfahren / 2, 3, 4 /.
CaF_2 - TLDs wurden im Alderson-Rando-Phantom dort eingesetzt, wo sehr kleine Dosen zu erwarten waren, d.h. außer-

halb des Nutzstrahlbündels. CaF_2-TLDs weisen gegenüber LiF-TLDs eine wesentlich höhere Meßempfindlichkeit auf. Da die TLD-Anzeige stark von der Strahlenqualität abhängt, ist es notwendig, einen entsprechenden Kalibrierfaktor für den später einzustellenden Röhrenspannungsbereich zu ermitteln.
Ebenso war es erforderlich, ein Diagramm zur Fadingkorrektur aufzustellen. Beim Fading handelt es sich um die Reduzierung des gespeicherten Dosiswertes in der Zeit zwischen Exposition und Auswertung. Einzelheiten sind in der Literatur / 2, 3, 4 / angegeben.

2.2 Duplex-Dosimeter

Die Einfallsdosis hinter der Tiefenblende wurde mit dem Duplex-Dosimeter (R) der Fa. PTW, Freiburg, gemessen. Als Detektor diente eine sog. T-Kammer, deren Anzeige für den röntgendiagnostischen Spannungsbereich energieunabhängig ist. Die gesamte Anordnung einschließlich der T-Kammer kann durch einen Sr 90-Kalibrierstrahler auf Funktionsfähigkeit überprüft und auf Anzeigerichtigkeit kalibriert werden. Bei der T-Kammer handelt es sich um eine Ionisationskammer, deren Ausgangsstrom über eine Elektrometerröhre dem Anzeigegerät zugeführt und dort in sog. Sprüngen registriert wird. Eine mitgelieferte und an Hand der Kalibrierung zu modifizierende Tabelle er-

laubt die Umrechnung der angezeigten Sprünge in eine Dosiseinheit.

Prinzipiell kann mit dem Duplex-Dosimeter sowohl eine Dosis - als auch eine Dosisleistungsmessung - durchgeführt werden. Im Rahmen dieser Arbeit war nur die Dosis pro Untersuchung interessant.

2.3 Meßanordnung

Die Untersuchungen wurden an einer Materialprüfungsanlage MG 150 der Fa. C.H.F. Müller[+)] durchgeführt. Der Hochspannungsgenerator liefert für maximal 150 kV eine konstante Gleichspannung mit 3 kW Dauerleistung. Die Röntgenröhre ist eine Doppelfokus-Stehanoden-Röhre mit Berylliumfenster. Zur Anpassung an die medizinischen Erfordernisse wurde an den Strahler eine einstellbare Tiefenblende der Fa. Siemens und eine Filterplatte mit einer Dicke von 2 mm Al angebracht.

Während aller Messungen am Phantom betrug die Filterung nach DIN 6811 2 mm Al und der Abstand zwischen Fokus und Meßkammer zur Bestimmung der Einfallsdosis am Ende der Tiefenblende 32 cm.

Die Einstellung der Röhrenspannung, des Fokus-Film-Abstandes, des mAs-Produktes und der Feldgröße orientierte sich an Empfehlungen der Fa. Siemens / 5, 6 /.

Der Röhrenstrom wurde jeweils auf maximale Werte einge-

+) in der Zentralstelle für Sicherheitstechnik, Düsseldorf

stellt, um möglichst hohe Dosiswerte und damit einen kleinen Meßfehler zu erreichen. Die Rückrechnung auf die bei Röntgenaufnahmen üblichen mAs-Produkte war unproblematisch, da die Dosis proportional zum mAs-Produkt ist.
Vor jeder Messung wurde das Duplex-Dosimeter mit Hilfe eines radioaktiven Strahlers kalibriert und anschließend die Meßkammer in Feldmitte an der Tiefenblende fixiert.
In einer speziellen Messung wurde die Gehäusedurchlaßstrahlung der gesamten Anordnung bestimmt. Es zeigte sich dann später, daß deren Beitrag zu den Organdosen vernachlässigt werden konnte.

2.4 Alderson-Rando-Phantom

Das Alderson-Rando-Phantom ist äußerlich als auch hinsichtlich der Dichte und Konsistenz dem menschlichen Körper nachgebildet ("Gewebeäquivalenz"). Dadurch besteht die Möglichkeit, unter radiologischen Gesichtspunkten die im Phantom gewonnenen Meßergebnisse auf den Patienten zu übertragen.
Das Phantom läßt sich in Scheiben von ca. 2,5 cm Dicke zerlegen, wobei in jede Scheibe zahlreiche kleine Löcher zur Aufnahme der TLDs eingestanzt sind. Die vorgezeichneten Konturen der Organe gestatten eine genaue Plazierung der TLDs.

So ist es möglich, Dosismessungen an den Stellen vorzunehmen, die beim Patienten unzugänglich sind.

2.5 Plazierung der Dosimeter

Die genaue Plazierung der TLDs wird durch den in / 7 / abgebildeten Plan erleichtert.

2.5.1 Lunge

Sieben Dosimeter wurden in die linke Lunge eingesetzt. Dabei mußte auf eine gleichmäßige Verteilung der TLDs geachtet werden. Die Auswertung erfolgte durch Berechnung des arithmetrischen Mittelwertes.

2.5.2 Rotes Knochenmark

Die Dosimeter wurden an 13 Stellen im roten Knochenmark eingesetzt. Das aktive rote Knochenmark zeigt hinsichtlich der Verteilung eine starke Abhängigkeit vom Alter der betroffenen Person. So enthalten im Zeitraum von der Geburt bis etwa zum 2o. Lebensjahr die Extremitäten einen großen Teil des aktiven roten Knochenmarks. Mit dem Alter nimmt dieser Anteil allmählich bis fast auf Null ab (S.149 in / 8 /). Die statistische Verteilung aller Röntgenuntersuchungen auf Altersgruppen (Daten aus 9 Krankenhäusern / 9 /) zeigt ein Maximum bei etwa 35 Jahren und 80 Jahren. Ferner liegt bei Untersuchungen nur des Brustraumes

ein Maximum bei etwa 3o Jahren. Untersuchungen zum Beispiel im Beckenbereich und Pyelographien weisen keine für diese Arbeit relevanten Maxima in der Altersverteilung auf. Die Anteile des aktiven roten Knochenmarks verteilen sich für das Alter von 35 Jahren prozentual wie folgt (S. 149 in / 8 /):

Körperbereich	proz. Anteil des aktiven roten Knochenmarks
Becken	ca. 35 %
Wirbelsäule	ca. 3o %
Kopf	ca. 15 %
Rippen	ca. 8 %
Schulterblatt	ca. 7,5 %
Brustbein	ca. 2,5 %
Schlüsselbein	ca. 2,o %

Man kann davon ausgehen, daß sich diese Verteilung bis zum Alter von 80 Jahren nur noch unwesentlich ändert. Bei der Auswertung der bestrahlten Dosimeter wurde die o.g. prozentuale Aufteilung des aktiven roten Knochenmarks bei der Berechnung der mittleren Knochenmarkdosis berücksichtigt.

Die Zahl der im Phantom auf die einzelnen Bereiche ver-

teilten Dosimeter ist aus nachfolgender Tabelle zu entnehmen:

Anatomische Stelle	Anzahl der TLDs
Kreuzbein	1
Darmbeinkamm	3
2. Lendenwirbelkörper	1
7. Brustwirbelkörper	1
6. Rippe (im Rippenkörper)	1
6. Halswirbelkörper	1
Brustbeinkörper	1
Schlüsselbein	1
Schulterblatt	1
Schädelkalotte	2

2.5.3 Schilddrüse

Zur Bestimmung der Strahlenexposition der Schilddrüse wurde ein Dosimeter im Zentrum der Drüse plaziert.

2.5.4 Weibliche Brust

Die Zentralstelle für Sicherheitstechnik, Düsseldorf (ZfS) besitzt nur ein Alderson-Rando-Phantom (männlich), so daß der Phantomkörper einer weiblichen Brust aus gewebeäquiva-

lentem Material (Plexiglas) hergestellt und am Phantom befestigt werden mußte. Zu diesem Zweck wurden 2 Scheiben mit den Abmessungen 10 x 10 x 4 cm so mit Löchern zur Aufnahme von ? Dosimetern versehen, daß diese wegen der besonderen Strahlenempfindlichkeit des Drüsenparenchyms / 10 / in das Zentrum des Drüsengewebes eingesetzt werden konnten.

Die Auswertung geschah durch Mittelwertbildung der beiden Dosimeteranzeigen.

3 Meßergebnisse

In der Tab. 1 sind die Meßergebnisse zusammengestellt. Einstelldaten wie Röhrenspannung, mAs-Produkt, Feldgröße und Fokus-Film-Abstand (FFA) sind aus von der Fa. Siemens vorgeschlagenen Einstelldaten / 5, 6 / entnommen. Die Halbwertschichtdicke (HWSD) zur Charakterisierung der Strahlenqualität ist aus / 11 / ermittelt worden. Der Fokus-Haut-Abstand (FHA) wurde vor jeder Untersuchung neu festgelegt. Die Tabelle enthält ferner die Organdosen in der Einheit mrd [+)] für jedes betrachtete Organ und die Einfallsdosis in der Einheit R [+)].

[+)] 1 Rad (rd) = 10^{-2} J/kg = 10^{-2} Gray (Gy)
1 Röntgen (R) = $2.58 \cdot 10^{-4}$ C/kg

Untersuchungsart	HWSD (mmAl)	Einf.-dosis(R)	kV	mAs	Format (cm)	FFA (cm)	FHA (cm)	Organdosen(mrd)			
								Schild-drüse	Brust	Lunge	Knochen-mark
Nebenhöhlen p.a.	2.2	1.09	70	125	18x24	115	82	32.8	1.3	1.4	16.0
Schädel p.a.	2.2	0.68	70	80	24x30	115	87	48.3	1.5	2.5	12.0
Schädel seitl.	2.0	0.33	63	50	24x30	115	88	90.2	4.7	2.6	41.0
Lunge und Herz p.a.	1.7	0.02	55	6	35x35	150	120	1.7	0.8	6.9	2.9
1.-7. Rippe a.p.	1.9	0.28	60	50	24x30	115	84	182.0	297.0	50.5	39.0
8.-12.Rippe a.p.	2.1	0.95	66	125	24x30	115	84	62.0	905.4	220.0	76.0
Lunge und Herz seitl.	2.2	0.07	70	12	35x35	150	110	21.5	41.9	22.9	2.3
Nieren u.Gallen-blase a.p.	2.0	0.44	63	100	30x40	115	90	0.3	1.5	18.3	1.8
Übersichtsaufn. Magen p.a.	2.6	0.24	85	20	24x30	115	85	0.2	1.1	27.9	28.0
Übersichtsaufn. Bauchorg. p.a.	2.6	0.24	85	20	35x35	115	85	0.7	2.3	40.0	66.0
HWS a.p.	1.9	0.44	60	64	18x24	115	80	425.2	317.8	24.1	3.9
HWS seitl.	1.9	0.07	60	25	18x24	150	115	40.0	27.0	4.4	1.0
BWS a.p.	2.3	0.97	73	100	20x40	115	84	94.6	1329.4	159.6	45.0
BWS seitl.	2.2	1.53	70	125	2ox40	115	70	11.8	50.8	203.0	19.0
LWS a.p.	2.2	0.7	70	80	24x30	115	82	1.3	6.2	26.2	60.0
LWS seitl.	2.4	2.74	77	200	24x30	115	76	0.3	0.8	14.1	30.0
Becken a.p.	2.2	0.91	70	80	35x35	115	76	0.1	2.5	6.1	27.0

Tab.1 : Übersicht über die Einstelldaten und die Meßergebnisse (Einfalldosen und Organdosen) bei Röntgenaufnahmen

Die Meßergebnisse aus Tab. 1 können hinsichtlich der berechneten Organdosen teilweise zusammengefaßt werden. Am Beispiel der Verhältnisse im Röntgeninstitut des Universitätsklinikum Essen können folgende prozentuale Anteile für die einzelnen Untersuchungen angegeben werden:

Teilbereich	Untersuchungen	proz. Anteil
Schädel	Nebenhöhlen p.a.	2o %
	Schädel p.a.	4o %
	Schädel seitl.	4o %
Rippen	1. - 7. Rippe a.p.	3o %
	8. - 12. Rippe a.p.	7o %
Thorax	Lunge u. Herz p.a.	5o %
	Lunge u. Herz seitl.	5o %

Bei den Wirbelsäulenaufnahmen ist von jeweils einer Aufnahme a.p. und einer Aufnahme im seitlichen Strahlengang auszugehen. Tab. 2 zeigt die berechneten Organdosen.

Untersuchungsart	Organdosen(mrd)			
	Schild-drüse	Brust	Lunge	Knochen-mark
Schädel	62.0	2.7	2.3	24.4
Rippen	98.0	722.9	169.2	65.0
Thorax	11.6	21.4	15.0	2.8
Nieren u.Gallen-blase a.p.	0.3	1.5	18.3	1.8
Übersichtsaufn. Magen p.a.	0.2	1.1	27.9	28.0
Übersichtsaufn. Bauchorg. p.a.	0.7	2.3	40.0	66.0
HWS	465.2	344.8	28.5	4.9
BWS	1o6.4	1380.2	362.6	64.0
LWS	1.6	7.0	40.3	90.0
Becken a.p.	0.1	2.5	6.1	27.0

Tab. 2: Organdosen bei Röntgenaufnahmen

4. Auswertung

4.1 Somatischer Dosisindex

Will man zum Strahlenrisiko quantitative Angaben machen, so kann man sich einer Risikoabschätzung von Jacobi / 12, 13 / und von Laws, Rosenstein / 14 / bedienen, die den Verlauf der Dosis-Risiko-Beziehung, das Zeitfaktor-Problem und die Bilanz des Strahlenrisikos bei Ganzkörperbestrahlung ausführlich untersucht haben. Nach Laws, Rosenstein / 14 / hat der sog. somatische Dosisindex, der eine zahlenmäßige Beschreibung des Strahlenrisikos erlaubt, folgende Form:

$$I_D = \frac{\sum_{i=1}^{n} s_i \alpha_i \bar{D}_i}{\sum_{i=1}^{n} s_i \alpha_i} \qquad \ldots (1)$$

Dabei ist: s_i = relative Gefährlichkeit der somatischen Schädigung für das i'te Organ, α_i = Risikofaktor, ausgedrückt in Zahl der Fälle von Leukämie und anderer maligner Prozesse pro 10^6 Personen, pro Jahr und pro Rad, für das i'te Organ, $\bar{D}_i$ = mittlere Energiedosis in der Einheit Rad, absorbiert im i'ten Organ. Das Produkt $s_i \alpha_i$ wird Empfindlichkeitskoeffizient für jedes bestrahlte Organ genannt.

In Tab. 3 sind die Risikofaktoren und die relativen Gefährlichkeiten für die betrachteten Organe angegeben / 14 /.

Organ	Männer α_i	Frauen α_i	s_i
rotes Knochenmark	1.5	1.0	1.0
Schilddrüse	1.5	3.0	0.3
Brust	0	6.0	0.65
Lunge	1.0	1.0	1.0

Tab. 3: Risikofaktoren und relative Gefährlichkeiten im Sinne der Gl. (1)

Die Risikofaktoren (α_i) für Frauen und Männer müssen als unterschiedlich angenommen werden. Außerdem kommt bei Abschätzung der weiblichen somatischen Dosis die Strahlenexposition der weiblichen Brust sozusagen als zusätzlicher Risikofaktor hinzu. Näheres, insbesondere Einzelheiten zur Tumorinduktionsrate bei der weiblichen Brust und bei der Schilddrüse ist in / 15 / (S. 12) enthalten.
Mit Hilfe der in Tab. 2 und 3 angegebenen Werte wurde der somatische Dosisindex (SD) nach Gl. (1) für Frauen und Männer berechnet. Die Ergebnisse sind in Tab. 4 zusammengefaßt.

Untersuchungsart	Somatischer Dosisindex(mrd)	
	Männer	Frauen
Schädel	23.0	14.0
Rippen	105.0	462.0
Thorax	8.2	16.4
Nieren u.Gallenblase a.p.	7.6	4.0
Übersichtsaufn. Magen p.a.	24.0	9.0
Übersichtsaufn. Bauchorg. p.a.	47.0	17.0
HWS	83.0	264.0
BWS	170.0	870.0
LWS	60.0	23.0
Becken a.p.	16.0	6.0

Tab. 4: Somatischer Dosisindex für Frauen und Männer, berechnet aus den Werten der Tab. 2 und 3 nach Gl. (1) für Röntgenaufnahmen

Zwecks Abgleichung des somatischen Risikos bei Frauen und Männern muß ein Faktor bestimmt werden, aus dem die Dosis folgt, die bei beiden Geschlechtern die gleiche somatische Schädigung (G) hervorruft ($G = \sum_{i=1}^{n} s_i \alpha_i \bar{D}_i$).

Setzt man die somatische Schädigung für die Frauen G (w) gleich derjenigen für den Mann G (m), so kann dadurch und mit Hilfe der Risikofaktoren α_i und der relativen Gefährlichkeiten s_i dieser Faktor berechnet werden.

Aus Gl. (1) ergibt sich:

$$I_D\,(m) = \frac{G\,(m)}{\sum_{i=1}^{4} s_i \alpha_i\,(m)} \qquad \ldots (2a)$$

$$I_D\,(w) = \frac{G\,(w)}{\sum_{i=1}^{5} s_i \alpha_i\,(w)} \qquad \ldots (2b)$$

Einsetzen der Werte aus Tab. 3 in Gl. (2a) und Gl. (2b) ergibt unter der Voraussetzung von G (w) = G (m):

$$I_D\,(m) = 2.31\ I_D\,(w) \qquad \ldots (3)$$

Aus Gl. (3) folgt, daß die gleiche Dosis, appliziert bei der Frau und beim Mann, unterschiedliche somatische Schädi-

gungen hervorruft, und zwar bei der Frau um den Faktor 2.31 höher als beim Mann.

In Abb. 1 ist der somatische Dosisindex auf einer logarithmischen Skala dargestellt. Die Skala für den somatischen Dosisindex bei der Frau ist um den Faktor 2.31 gedehnt, so daß bei den parallel gezeichneten Skalen die somatische Schädigung für Frauen und Männer vergleichbar ist.

Höchste somatische Schädigungen für beide Geschlechter sind demnach von BWS- und Rippenaufnahmen zu erwarten. Das vergleichsweise höhere somatische Risiko bei Frauen erklärt sich dadurch, daß bei diesen Aufnahmen die Brustdrüse teilweise im Nutzstrahlengang liegt.

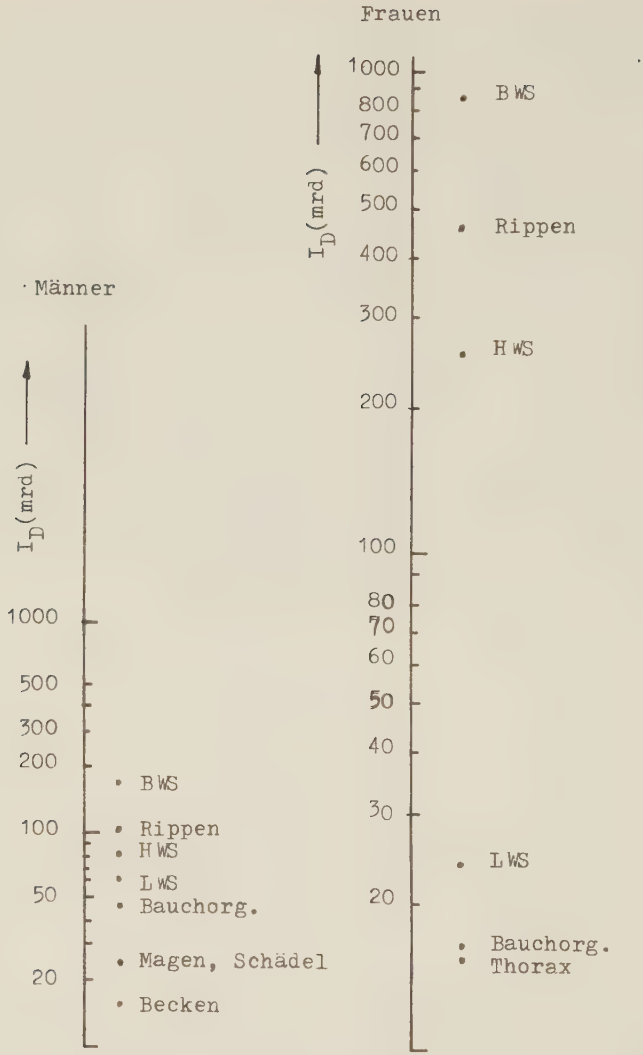

Abb. 1: Somatischer Dosisindex (SD) für Frauen und Männer nach Werten der Tab. 4 und nach Umrechnung mittels Gl. (3)

4.2 Somatisch signifikanter Dosisindex

Als Maß zur Bewertung von Strahlenexpositionen der Gesamtbevölkerung wird der somatisch signifikante Dosisindex (SSD) vorgeschlagen. Diese Größe ist das Produkt aus der Anzahl der Röntgenuntersuchungen und dem somatischen Dosisindex (SD). Als Einheit des SSD wird das woman-rd bzw. man-rd vorgeschlagen. Hierzu benötigt man die jährlich in der Bundesrepublik Deutschland durchgeführten Röntgenuntersuchungen. Nach / 8, 9, 16 / sind das etwa 1 7oo Röntgenuntersuchungen pro 1 ooo Personen der Bevölkerung. Davon entfallen etwa 3oo Untersuchungen auf die Zahnmedizin. Tab. 5 zeigt den prozentualen Anteil der einzelnen Untersuchungen, ermittelt in 9 größeren Krankenhäusern / 9 /.

Organ	Männer	Frauen
Thorax	40.6	41.5
Schädel	12.0	8.5
MDP	4.3	4.4
Abdomen	4.1	4.2
Galle	3.0	4.0
LWS	2.6	3.3
Becken	1.7	2.7
BWS	2.0	1.6
HWS	1.7	1.9

Tab. 5: Prozentuale Häufigkeit von Röntgenuntersuchungen, ermittelt in 9 Krankenhäusern, aufgeteilt nach Geschlecht.

Für die Röntgenaufnahmen der Rippen, die bei der Berechnung des SD einen bedeutenden Beitrag liefert, fehlen nähere Angaben bezüglich der Häufigkeit der Untersuchung. Deshalb wurde aus / 14 / die in den USA festgestellte Verteilung auf die Verhältnisse der Bundesrepublik Deutschland übertragen.

In Tab. 6 sind die absoluten Zahlen für die Untersuchungen aus Tab. 5 und / 9 /, sowie der sich daraus ergebende SSD angegeben.

Tab. 6: Übersicht über den somatisch signifikanten Dosisindex bei Frauen und Männern für die Verhältnisse der Röntgendiagnostik in der Bundesrepublik Deutschland (1978)

Untersuchungsart	Zahl der Aufnahmen in Millionen		SD		SSD	
	Männer	Frauen	I_D (mrd) Männer	I_D (mrd) Frauen	$N\ I_D$ (man-rd)	$N\ I_D$ (woman-rd)
Schädel	7.2	5.1	23.0	14.0	$1.7 \cdot 10^5$	$0.71 \cdot 10^5$
Rippen	0.39	0.28	105.0	462.0	$0.4 \cdot 10^5$	$1.3 \cdot 10^5$
Thorax	24.36	24.9	8.2	16.4	$2.0 \cdot 10^5$	$4.1 \cdot 10^5$
Nieren u. Gallenblase a.p.	4.56	5.04	7.6	4.0	$0.35 \cdot 10^5$	$0.38 \cdot 10^5$
Übersichtsaufn. Magen p.a.	2.58	2.64	24.0	9.0	$0.62 \cdot 10^5$	$0.24 \cdot 10^5$
Übersichtsaufn. Bauchorg. p.a.	2.46	2.52	47.0	17.0	$1.2 \cdot 10^5$	$0.43 \cdot 10^5$
HWS	1.02	1.14	83.0	264.0	$0.85 \cdot 10^5$	$3.0 \cdot 10^5$
BWS	1.2	0.96	170.0	870.0	$2.0 \cdot 10^5$	$8.4 \cdot 10^5$
LWS	1.56	1.98	60.0	23.0	$0.94 \cdot 10^5$	$0.46 \cdot 10^5$
Becken a.p.	1.02	1.62	16.0	6.0	$0.16 \cdot 10^5$	$0.1 \cdot 10^5$

In Abb. 2 ist der SSD für verschiedene Röntgenuntersuchungen mit dem in Abb. 1 ebenfalls benutzten Faktor aufgetragen.

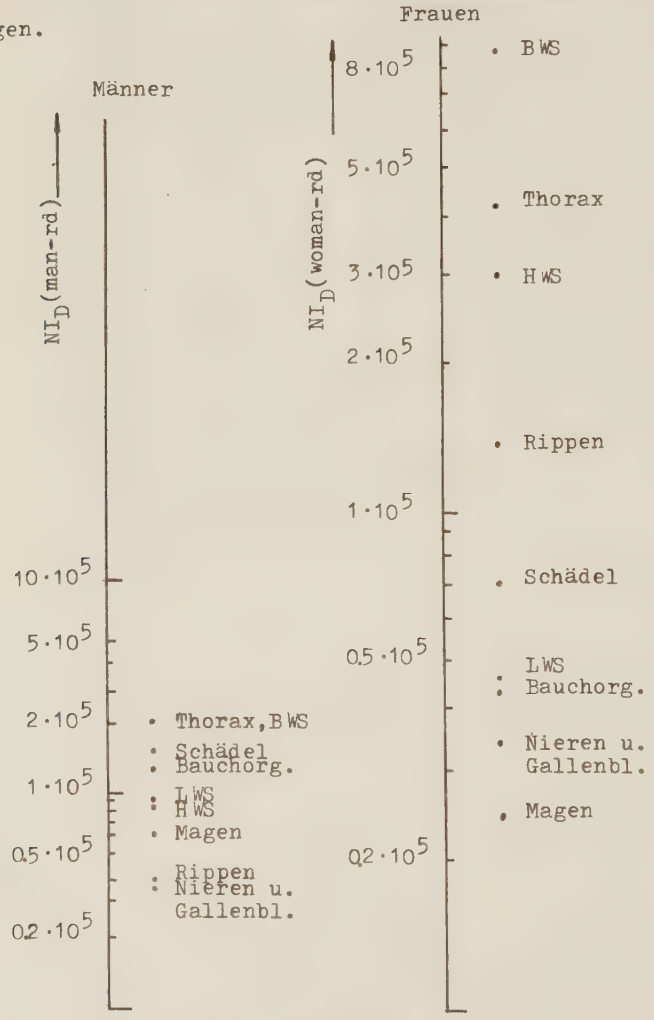

Abb. 2: Somatisch signifikanter Dosisindex für verschiedene Röntgenuntersuchungen in der Bundesrepublik Deutschland

Vergleicht man die Reihenfolge der Strahlenexpositionen, ausgedrückt durch den SD und durch den SSD, so zeigen sich erhebliche Verschiebungen. Diese sind durch die unterschiedliche Häufigkeit der einzelnen Untersuchungen bedingt.

Rippenaufnahmen manifestieren sich im SD bei Frauen und Männern als relativ hohes somatisches Risiko, während Thoraxuntersuchungen (Herz und Lunge) niedrige Werte aufweisen. Bei Umrechnung in den SSD stellt sich dagegen heraus, daß das somatische Risiko der Gesamtbevölkerung bei Thoraxuntersuchungen für Frauen und Männer mit am höchsten ist. Rippenuntersuchungen verlieren dagegen das hohe somatische Risiko.

5 Schlußbemerkungen

In dieser Arbeit ist versucht worden, das somatische Strahlenrisiko der Gesamtbevölkerung quantitativ zu erfassen.

Die röntgendiagnostischen Untersuchungen sind dabei von besonderem Interesse, da sie den größten Beitrag zur künstlichen Strahlenbelastung der Bevölkerung leisten / 17 /. Bisher war der Schwerpunkt strahlenschutztechnischer Bemühungen fast ausschließlich in dem Versuch zu sehen, die genetisch signifikante Dosis (GSD) zu reduzieren. Durch die Betonung der GSD wurde möglicherweise die Aufmerksamkeit von der strahlenbiologischen Bedeutung der Exposition anderer Organe abgelenkt und dadurch evtl. das Gesamtrisiko durch bestimmte Untersuchungsarten, die gewöhnlich sehr niedrige Keimdrüsendosen verursachen, unterschätzt. Ein Beispiel hierfür sind Thoraxuntersuchungen, die eine Bestrahlung somatisch kritischer Organe, d.h. der Lunge, der weiblichen Brust, des aktiven roten Knochenmarks und der Schilddrüse mit sich bringen. Nach / 9 / (S. 13) und / 16 / (S. 137) bedingt die Röntgenuntersuchung des unteren Gastrointestinaltraktes einen Anteil an der GSD von 34.37 % bei einer relativen Häufigkeit dieser Untersuchungen von 1 - 2.2 %. Thoraxuntersuchungen und Untersuchungen der Brustwirbelsäule spielen in diesem Zusammenhang praktisch keine Rolle.

Ganz anders sehen die Verhältnisse unter dem Aspekt des somatisch signifikanten Dosisindex (SSD) aus. Der SSD bei Thorax- und BWS-Untersuchungen ist besonders beachtenswert - eine Folge hoher Untersuchungsfrequenzen bzw. hoher somatischer Dosisindizes (vgl. Tab. 6).

Diese Beispiele sollen demonstrieren, daß hinsichtlich des Strahlenrisikos in der medizinischen Röntgendiagnostik eine gewisse Verlagerung der Schwerpunktsetzung erforderlich ist. Die in dieser Arbeit zur Berechnung des SD und SSD angegebenen Parameter mögen durchaus noch modefiziert werden müssen; trotzdem erscheint die hier vorgenommene zahlenmäßige Abschätzung des SSD für eine Bewertung des somatischen Risikos eine richtige Größenordnung wiederzugeben. Weitere Arbeiten in dieser Richtung müßten andere Untersuchungsarten, wie z.B. die Mammographie, CT oder Durchleuchtungstätigkeiten in die Berechnung des SD bzw. SSD miteinbeziehen. Möglicherweise hat auch der Typ einer Röntgeneinrichtung, sicherlich sogar die Strahlenqualität, Einfluß auf die Abschätzung des somatischen Risikos.

Die berechneten SD und SSD sind mit Hilfe der in / 14 / angegebenen Risikofaktoren α_i und relativen Gefährlichkeiten s_i berechnet worden. Bei diesen Zahlen handelt es sich zunächst noch um grob abgeschätzte Werte, deren

Größenordnungen durch weitere wissenschaftliche Forschungsarbeiten gesichert werden müssen.

Ein weiteres Problem ist die Einbeziehung des Schwellenwertes für eine somatische Schädigung. Biologische Strahleneffekte können in stochastische und nichtstochastische Vorgänge unterteilt werden. Bei stochastischen Wirkungen scheint die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten eines Schadens in Abhängigkeit von der Dosis ohne Schwellenwert zu verlaufen. Hierzu zählt man heutzutage genetische Effekte und die Induktion von Krebs einschließlich der Leukämie. Bei den nichtstochastischen Wirkungen ist die Intensität des Effektes (und nicht die Wahrscheinlichkeit) eine Funktion der Dosis, wobei scheinbar ein Schwellenwert existiert, unterhalb dessen der betreffende Effekt nicht mehr signifikant beobachtet werden kann. Hierzu gehören Hautrötung, Linsentrübung, Fertilitätsstörungen, Schäden am Gefäßsystem und am Bindegewebe.
Auch von administrativer Seite müßte der Tatsache mehr Rechnung getragen werden, daß ein somatisches Strahlenrisiko in durchaus gleichberechtigter Größenordnung neben dem genetischen Strahlenrisiko besteht. In diesem Sinne sollte bei einer Novellierung der Röntgenverordnung der Abschnitt 2 "Anwendung der Röntgenstrahlen auf den lebenden Menschen" (z.B. § 23) dieser neuen Betrachtungsweise angepaßt werden.

6 Literaturverzeichnis

1 DIN 6814, Teil 3: (Entwurf) — Begriffe und Benennungen in der radiologischen Technik "Dosisgrößen und Dosiseinheiten" Beuth-Vertrieb, Berlin, Köln 1977

2 Liebe, M.: — Verwendung von CaF_2-Thermolumineszenzdosimetern zur Bestimmung der Strahlenexposition in der Röntgendiagnostik Dissertation Düsseldorf 1978

3 Stender, F.: — Berufliche Strahlenexposition in der Röntgendiagnostik Dissertation Düsseldorf im Druck

4 Krämer, K.: — Systematische Untersuchungen der Eigenschaften von Thermolumineszenzdosimetern für Zwecke der Röntgendiagnostik und -therapie Dissertation Erlangen 1974

5		Medizinische Technik Daten - Formeln - Fakten Siemens 1979
6	Hoxter, E.:	Röntgenaufnahmetechnik Siemens 1972
7	Sherman, G.J., Howe,G.R., Miller,A.B., and M. Rosenstein:	ORGAN DOSE PER UNIT EXPOSURE RESULTING FROM FLUOROSCOPY FOR ARTIFICIAL PNEUMO-THORAX Health Physics Vol. 35: 259 - 269 1978
8	Der Bundesminister des Innern:	Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung Jahresbericht 1976
9	Stieve, F.-E.:	Strahlenbelastung durch medizinische Maßnahmen in der Röntgendiagnostik Institut für Strahlenhygiene des Bundesgesundheitsamtes, Berlin / Neuherberg 1979

10 Säbel, M., Ruff, A., J. Weishaar: Thermolumineszenzdosimetrische Messungen zur Strahlenexposition der Brust bei Film- und Xeromammographie Fortschr. Röntgenstr. 128,5 : 616 - 622 1978

11 Wachsmann, E., und A. Dimotsis: Kurven und Tabellen für die Strahlentherapie Hirzel-Verlag, Stuttgart 1957

12 Jacobi, W.: Veränderungen und neue Erkenntnisse in der Abschätzung des somatischen Strahlenrisikos Fortschr. Röntgenstr. 124,5 : 489 - 492 1976

13 Jacobi, W.: Beziehungen zwischen der Strahlendosis und dem somatischen Strahlenrisiko Atomwirtschaft - Atomtechnik 6 : 278 - 284 1974

14 Laws, P., and M. Rosenstein: A SOMATIC DOSE INDEX FOR DIAGNOSTIC RADIOLOGY
Health Physics Vol 35: 629 - 642
1978

15 Vereinte Nationen: Bericht des wissenschaftlichen Komitees der Vereinigten Nationen über die Wirkung atomarer Strahlung
Ergänzungsband Nr. 40 (A/32/40)
New York
1977

16 Der Bundesminister des Innern: Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung
Jahresbericht
1975

17 Deutscher Bundestag: Bericht der Bundesregierung an den Deutschen Bundestag über „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung im Jahre 1976"
Drucksache 8/1682
1978

Danksagung

Hiermit danke ich Herrn Prof. Dr. Günther vom Institut und der Klinik für Medizinische Strahlenkunde der Universität Düsseldorf für die Bereitstellung des Themas.
Mein besonderer Dank gilt Herrn ORR Dr. Ewen von der Zentralstelle für Sicherheitstechnik (ZfS), Düsseldorf für die Betreuung der Arbeit und sein stets förderndes Interesse am Fortgang derselben.
Schließlich bin ich Frau Teubert von der ZfS verpflichtet für ihre Hilfe bei der Auswertung der Dosimeter im TLD - Labor der ZfS.

Lebenslauf

Name: Harald Steiner

Geburtsdatum: 4.7.1946

Geburtsort: Schwerin

Werdegang: Erwerb der allgemeinen Hochschulreife an der Staatl. Ingenieurschule für Maschinenwesen, Krefeld (1969)

Diplom - Hauptprüfung an der TU Berlin mit dem Thema der Diplomarbeit: Aufbau eines elektronischen Neuronenmodells mit Simulation der physiologischen Refraktärzeit (1974)

Beginn des Studiums der Medizin an der Universität Düsseldorf (SS 1976)

Aufnahme des Studiums der Zahnmedizin an der Universität Düsseldorf (WS 1976/77)